Technical Note

Public Works Canada / Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 996-9817

No. 23: May, 1984

Use of Corrugated Expansion Joints In Solar Systems

1. SYNOPSIS

The thermal expansion of pipes is a factor that should not be neglected in the design of solar systems as it can cause undue strain on system components. This note covers one of the devices used to compensate for pipe movement - corrugated expansion joints. To ensure the proper functioning of expansion joints, certain precautions and procedures should be followed when installing pipe anchors, pipe guides and bellows. A case study of the Gunton fish hatchery solar project in Gunton, Manitoba, is presented and the problem of overcompression of expansion joints is discussed.

2. INTRODUCTION

The problem of compensating for thermal expansion in pipes has existed since the first uses of pipe itself. Originally, pipe bends and loops were the only means available to the engineer in the solution of thermal expansion problems. Later on, packed, slip-type joints were developed, but they are expensive to maintain. Another option is to use silicon rubber hose clamped at each end with a gear clamp, which may cut through the rubber hose if overtightened, or a nonperforated spring clamp. Silicon hose does not always form a positive seal and some leakage can be expected, especially during the initial start-up of the system.

The need for a low-maintenance, trouble-free type of expansion unit led to the development of the metal corrugated expansion joint. Flat sheet stock (usually stainless steel) is formed into a tube and is then hydraulically formed into a bellows.

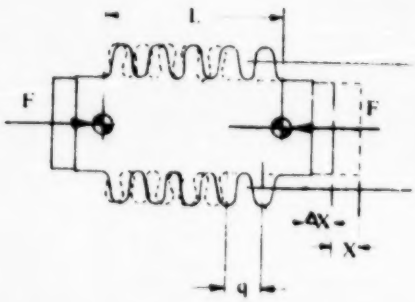
3. DESIGN AND INSTALLATION CONCERNS

3.1 Types of Movement

Expansion joints may be subjected to axial movement, angular movement, lateral displacement, vibration, or any combination of these.

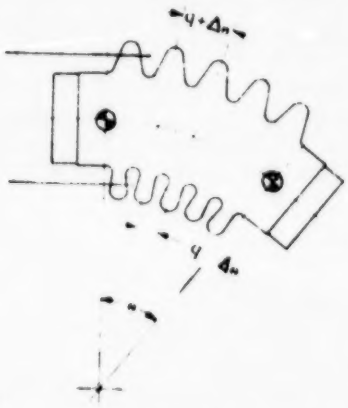
a. Axial Movement

This is the usual type of pipe movement encountered in solar systems, in which all motion is in a straight line along the longitudinal axis of the pipe (see Figure 1). This type of motion is sometimes called lineal travel.



q = pitch F = force n = number of corrugations
L - Δx = length of compressed bellows
L + Δx = length of expanded bellows

Figure 1: Axial Movement



n(q-Δθ) = arc length of compressed bellows
n(q+Δθ) = arc length of expanded bellows

Figure 2: Angular Movement

b. Angular Movement

This is a type of pipe movement in which, at a pipe joint for example, the centre of each section remains the same distance from a pivot point located halfway between them when they are axially aligned. Radial movement is another name for this type of motion. It is measured in degrees of tilt between the two planes of the coupling (θ° in Figure 2). In an application that involves angular motion, expansion joints must be installed in a partially-compressed position.

Figure 2 illustrates that an expansion joint absorbs pure angular movement along an arc by extending uniformly on one side and compressing uniformly on the other.

c. Lateral Displacement

In this type of pipe movement, the two sections of the pipe remain parallel and the same distance apart. It is also called parallel offset or transverse movement, and is measured in centimetres of displacement of the two centre lines, "y". An expansion joint must be installed in a partially-compressed position to absorb lateral motion.

Lateral displacement is a special case of angular movement (see Figures 3 and 4). The two bellows in a universal-type expansion joint, or the two halves of the bellows in a single-type expansion joint, bend in opposite directions to compensate for the lateral displacement. Unlike pure angular movement, lateral displacement results in unequal movement distribution in the inner and outer arcs of the bellows; the amount of displacement increases as the distance from the centre of the expansion joint increases.

A limit on the amount of angular movement and/or lateral displacement that may be imposed upon the expansion joint is established by the manufacturer.

d. Vibration

Selection of the most efficient device to prevent vibration depends on the following factors:

- amplitude
- frequency
- direction of the vibration
- internal pressure of the system.

Flexible connections are the most suitable solution to vibrational forces, and bellows should not be used in their place.

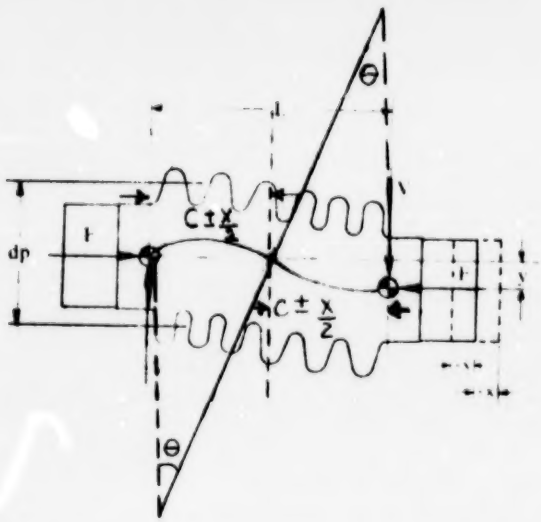


Figure 3: Lateral Offset - Single-Type Expansion Joint

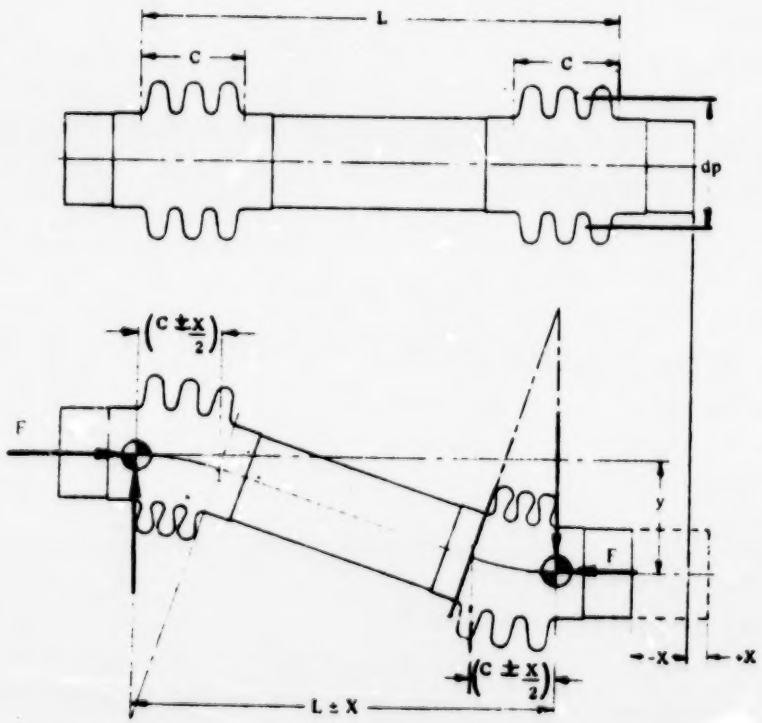


Figure 4: Lateral Offset - Universal-Type Expansion Joint

3.2 Typical Causes of Expansion Joint Failure

a. Shipping and handling damage

- denting or gouging of bellows struck by hard objects
- inadequate support for shipping and storage
- insufficient protection from weather or other adverse environmental conditions

b. Improper installation and insufficient protection during and after installation

- reversing joints with internal liners with respect to fluid flow
- installing a joint in a location other than as prescribed by the installation drawings
- prematurely removing shipping supports
- straining bellows to make up for piping misalignment
- insufficient protection from external mechanical damage
- failing to remove shipping supports before starting up system

c. Improper anchoring, guiding, or supporting of the piping system

d. Anchor failure in service

e. Bellows corrosion

- improper selection of bellows material for the flowing medium and/or adverse external environment. Specifically, chlorides leaching from insulation can cause stainless steel bellows to corrode
- stress corrosion (bellows manufactured from high nickel alloys can corrode in the presence of certain trace elements, such as chlorides)

f. System overpressure

g. Mechanical or flow-induced bellows vibration resulting in high-cycle fatigue (is sometimes difficult to detect)

h. Excessive bellows deflection (axial, lateral or angular displacements greater than manufacturer's recommended values)

i. Bellows erosion

- erosion of unlined bellows installed in a system having a very high velocity and/or erosive flowing medium

j. Packing of bellows convolutions with particulate matter such as insulation can inhibit proper movement of the bellows.

3.3 Design Considerations

a. Pipe Anchors

Pipe anchors divide the full length of a pipe run into smaller, controllable sections. The movement in each section is absorbed by the expansion joint located between two anchors and must not exceed the bellows' maximum stroke.

Major pieces of connected equipment, such as pumps, compressors and heat exchangers, etc., must not be used as anchors. Pipe anchors, their attachments and the structures to which they are attached must be designed to withstand the forces acting upon them. Components should be designed to a conservative stress level to avoid possible failure. The difference in cost of an adequately and inadequately designed anchor is nominal, but anchor failure may cause extensive system damage.

To ensure that the travel of the expansion joint is linear, pipe anchors should be placed at elbows or other changes in pipe direction. They are also used at the end of a straight run of pipe that is capped or valved. The forces acting on such anchors should include the thrust due to the internal pressure of the pipe.

Intermediate pipe anchors are used anywhere in a straight length of pipe that has an anchor at each end. They are used to divide a length of pipe into controllable sections. The force acting on an intermediate anchor always excludes the thrust due to internal pipe pressure, since these forces cancel out.

The general rules relating to the use of anchors are:

1. Always place an anchor at an elbow or other change in pipe direction, except for applications in which balanced, hinged, or other types of self-restrained units are equipped with devices to carry the internal pressure thrust.

2. Do not install more than one expansion joint between any two anchors. Where two or more joints are required in a straight run of pipe, use intermediate anchors to divide the line into controllable sections.

b. Pipe Guides and Guiding

Proper alignment of adjoining pipes is vital to the functioning of expansion joints. Proper support of the pipe is required to support the live and dead loads imposed on the line. Guides should be used at the expansion joints to ensure their safe operation.

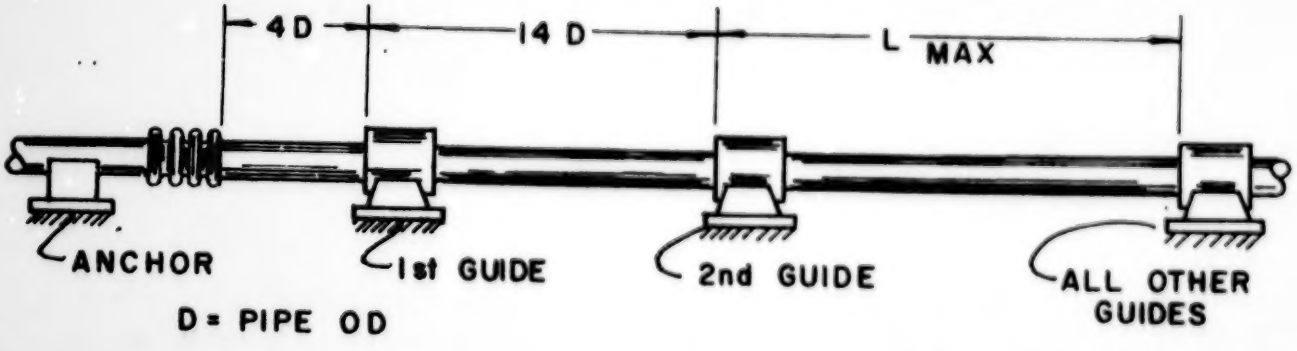
Planar pipe guides allow a pipe to move in a straight path to compensate for its change in length, and direct the thermal growth evenly into the expansion joint.

Both pipe alignment guides and planar pipe guides should allow sufficient clearance between the fixed and moving parts of the alignment guide to avoid excessive frictional forces. These guides should not be installed using pipe hanger installation standards and practices.

A U-bolt, pipe hanger, or single-roller support that supports only the weight of the line is not a substitute for either a proper pipe alignment guide or a planar guide. Materials from which pipe alignment guides and planar pipe guides are made must provide strength and rigidity under design operating conditions and be sufficiently resistant to corrosion and wear.

In applications involving axial movement only, the use of a single pipe alignment guide should be avoided since it may act as a fulcrum imposing lateral displacement or angular movement on an expansion joint.

In locating pipe alignment guides for plane pipes and for applications involving axial movement only, such as collectors with free floating headers, the expansion joint should be located close to an anchor, and the first pipe guide should be located a maximum distance of four pipe diameters from the end of the bellows. This provides proper movement guiding as well as proper support for each end of the expansion joint. The distance between the first pipe guide and the second must be a maximum of fourteen pipe diameters (see Figure 5).



L_{max} = maximum distance recommended by manufacturer between second guide and other guides

Figure 5: Pipe Alignment Guides

When bellows are used in collector arrays pipe anchors and pipe guides must be installed. Pipe guides should be located at the supply and return headers adjacent to the expansion joint (see Figure 6).

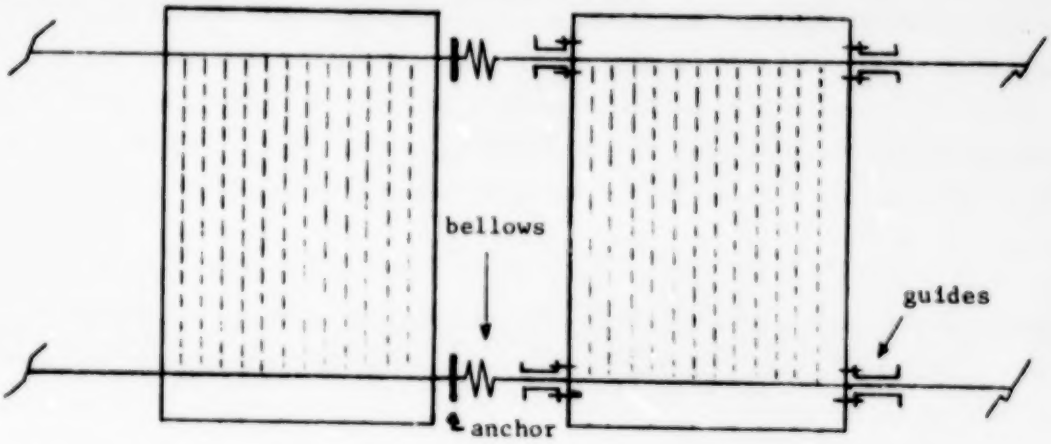


Figure 6: Bellows Installation in Collector Array

c. Installation

Make sure the expansion joint is the proper length for the installation conditions at the job site. Follow the manufacturer's instructions when relaxing or compressing the bellows, ensuring that they are at the correct length for installation at the given ambient temperature.

Since expansion joints are shipped in their maximum allowable length position, some precompression of the joint is necessary whenever the installation temperature is appreciably above the minimum temperature to which the pipe will be subjected.

Never stretch an expansion joint to compensate for a pipe-fitting error. If the spacers have to be removed, they should be removed according to the manufacturer's instructions before the expansion joint is put into service. Care must be taken to ensure that the proper installation length is maintained until all anchors are in place. Remove any foreign material lodged between the corrugations.

Do not test any unit beyond the pressure or traverse rating stamped on the name plate. Such excessive testing may seriously damage the expansion joint.

4. CASE STUDY I - GUNTON FISH HATCHERY

The Gunton fish hatchery solar project demonstrates how improper installation of expansion joints can lead to problems of overcompression. The collectors were installed in early winter; therefore the bellows should have been installed in a sufficiently relaxed position to allow for up to 15 mm of pipe extension. However, this potential for pipe extension was not taken into consideration. Except for the fact that only one-quarter of the collectors had been soldered, damage could have been more serious.

In the spring following installation of the system, a situation of full stagnation arose. With plate temperatures in the order of 175°C, the collector copper tubing was almost fully extended. Most bellows were either at their limit of compression, or were a few millimetres overcompressed.

In this project an expansion joint had been installed every four panels. The header tube in the collector was cut to its exact size in the factory at an ambient temperature of 21°C. The maximum and minimum tube temperatures were assumed to be 204°C and -40°C respectively. The thermal expansion coefficient of copper is $16.2 \times 10^{-6} mm.°C^{-1}$. The tube length of four collectors is 3708 mm.
Therefore, the total movement (expansion and contraction) of the bellows is:

Bellows contraction	21°C to 204°C	11 mm
Bellows expansion	21°C to -40°C	4 mm
		15 mm

Since the panels were installed in the winter, the copper pipe was at its shortest length and the bellows should have been installed in an uncompressed or relaxed condition. This would have made it possible for the total bellows movement to be taken up as compression as collector temperatures increased. (Conversely, if the bellows had been installed in an uncompressed condition during hot weather, the bellows would have overexpanded by 2.3 mm by the time the panel temperature reached -40°C.)

Since most of the panels had not yet been soldered, the situation was more easily remedied and new, larger bellows were installed.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

5.1 Installation Procedures and Precautions

1. When installing expansion joints in cold conditions, the bellows should be partially relaxed. If the panels are being installed in very cold weather, the designer should be consulted to determine the proper bellows length during installation. **Follow the manufacturer's instructions at all times.**

2. If the bellows are installed in hot weather, at least 80% of the surface area of the collectors should be covered with an opaque material. Black plastic temporarily taped to the surface is suitable.

3. The bellows should be sized to safely handle the total expansion and contraction of the pipe. Installed dimensions should follow those shown in the approved design drawing.

4. The header tube should be centered in the box before the bellows are installed.

5. Pipe anchors should be placed at elbows and changes in pipe direction.

6. Pipe supports should not be used as a substitute for pipe guides.

6. REFERENCES

1. Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association, Inc., 5th Edition, 1980.

2. High Corr Expansion Joints, Engineering Guide No. 700, UOP Ltd., 1974.

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-9617

N° 23: mai, 1984

Utilisation de joints de dilatation ondulés dans les installations solaires

1. SOMMAIRE

La dilatation des tuyaux est un facteur qu'il ne faut pas négliger dans la conception des installations solaires car elle peut imposer des contraintes indues aux composants. Le présent document porte sur l'un des dispositifs utilisés pour compenser les déplacements de tuyaux: le joint de dilatation ondulé. Pour que les joints de dilatation fonctionnent efficacement, des précautions doivent être prises lors de l'installation des ancrages et guides de tuyauterie et des soufflets. Ce document étudie aussi le cas du projet solaire de la pisciculture de Gunton (Manitoba) et le problème de la surcompression des joints de dilatation.

2. INTRODUCTION

Le problème de compensation de la dilatation thermique des tuyaux existe depuis que les tuyaux existent. Au début, les coudes et les boucles de tuyauterie étaient les seuls moyens à la disposition de l'ingénieur pour résoudre le problème. Par la suite, on a conçu des joints coulissants avec presse-étoupe, mais ceux-ci sont d'un entretien onéreux. Une autre possibilité consiste à utiliser un flexible de caoutchouc de silicone fixé à l'aide de colliers de tuyau à vis, qui peuvent couper le flexible s'ils sont trop serrés, ou à l'aide de brides à ressort sans perforations. Les flexibles de silicone ne sont pas toujours bien jointifs et on peut s'attendre à des fuites, surtout lors de la mise en service de l'installation.

Le besoin d'un dispositif de dilatation à entretien réduit et sans problèmes a mené à l'invention d'un joint de dilatation en tôle ondulée. La tôle (généralement de l'acier inoxydable) est moulée en forme de tube, qu'une machine hydraulique transforme en soufflet.

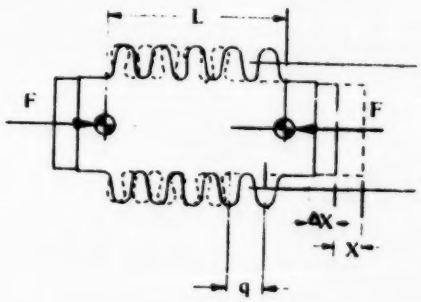
3. PRINCIPES DE CONCEPTION ET D'INSTALLATION

3.1 Types de déplacements

Les joints de dilatation sont soumis à des déplacements longitudinaux, angulaires ou latéraux, à des vibrations ou à une combinaison de ces phénomènes.

a. Déplacements longitudinaux

C'est le type de déplacement qu'on rencontre généralement dans les installations de chauffage solaire; il se produit le long de l'axe longitudinal du tuyau (voir figure 1).



q = pas F = force n = nombre d'ondulations
L $-\Delta$ x = longueur du soufflet comprimé
L $+\Delta$ x = longueur du soufflet étiré
n(q- θ) = longueur de l'arc du soufflet comprimé
n(q+ θ) = longueur de l'arc du soufflet étiré

Figure 1: Déplacement longitudinal

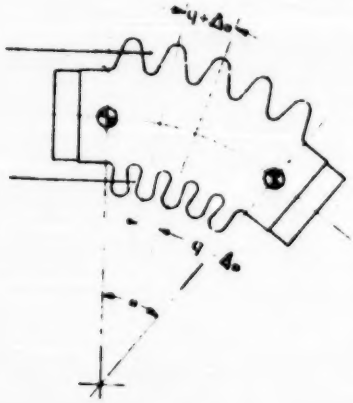


Figure 2: Déplacement angulaire

b. Déplacements angulaires

Ce type de déplacement se produit aux joints de tuyaux par exemple; le centre de chaque tronçon reste à la même distance d'un point d'articulation situé à mi-distance entre eux lorsqu'ils sont alignés sur le même axe. Ce déplacement est aussi appelé déplacement radial. Il est mesuré en degrés d'inclinaison entre les deux plans du raccord (θ sur la figure 2). Lorsqu'ils sont exposés à des déplacements angulaires, les joints de dilatation doivent être installés en position partiellement comprimée.

La figure 2 montre que le joint de dilatation absorbe le déplacement angulaire sur le long d'un arc en s'étirant uniformément d'un côté et en se comprimant uniformément de l'autre côté.

c. Déplacements latéraux

Dans ce type de déplacement, les deux tronçons de tuyau restent parallèles et équidistants. Ce déplacement, qu'on appelle aussi décalage latéral, est mesuré en centimètres de déplacement des deux axes, "y". Un joint de dilatation doit être installé en position partiellement comprimée pour absorber le déplacement latéral.

Le déplacement latéral est un cas particulier de déplacement angulaire (voir figures 3 et 4). Les deux soufflets d'un joint de dilatation de type universel, ou les deux moitiés du soufflet d'un joint de dilatation simple se plient en sens opposés pour compenser le déplacement latéral. Contrairement au déplacement angulaire pur, le déplacement latéral produit une répartition inégale du déplacement dans les arcs intérieurs et extérieurs du soufflet; la longueur de déplacement augmente à mesure que la distance par rapport à l'axe vertical du joint de dilatation augmente.

Le fabricant stipule une limite à l'ampleur du mouvement angulaire et/ou du mouvement latéral qui peut être imposée au joint de dilatation.

d. Vibrations

Le choix du dispositif le plus efficace pour empêcher les vibrations dépend des facteurs suivants:

- l'amplitude
- la fréquence
- la direction des vibrations
- la pression interne de la tuyauterie.

Les raccords flexibles constituent le meilleur moyen pour contrer les vibrations, il ne faut pas les remplacer par des soufflets.

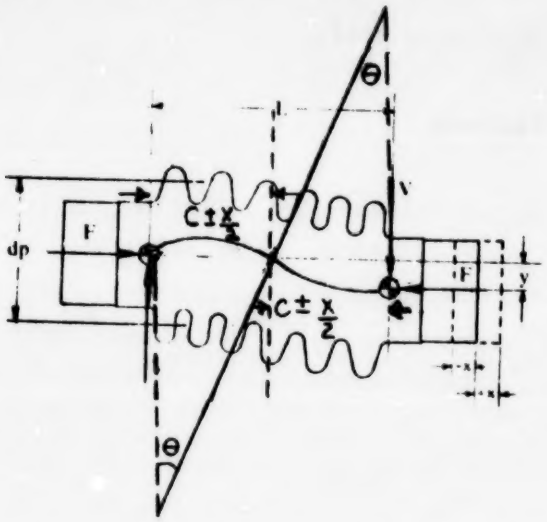


Figure 3: Décalage latéral - Joint de dilatation simple

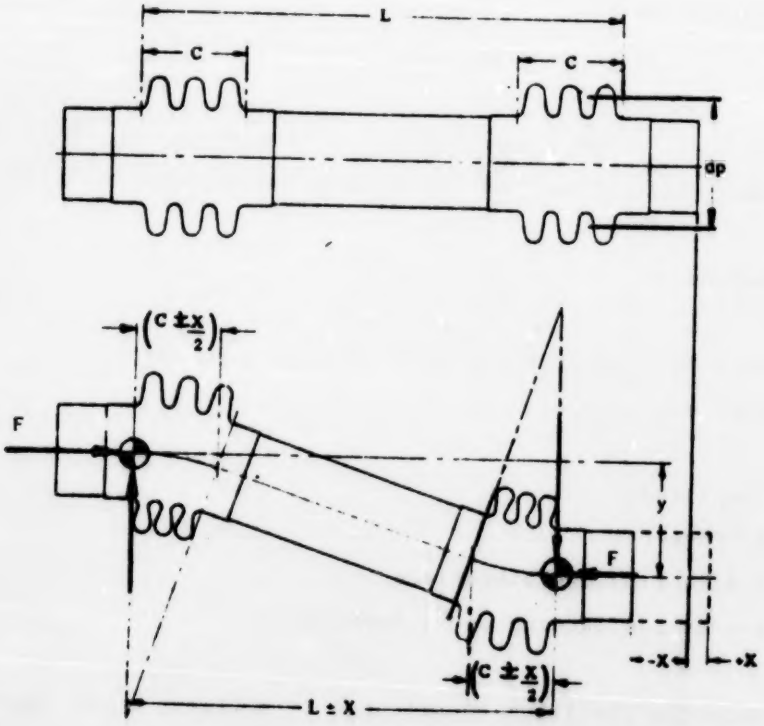


Figure 4: Décalage latéral - Joint de dilatation de type universel

3.2 Causes types de défaillance des joints de dilatation

a. Dommages au cours du transport et de la manutention

- bosses ou entailles dans les soufflets frappés par des objets durs
- mauvais support pour l'expédition et le stockage
- protection insuffisante contre les intempéries et d'autres conditions d'environnement nuisibles

b. Erreurs de pose et protection insuffisante pendant et après l'installation

- pose de joints avec chemisage interne à contresens du sens de circulation
- installation d'un joint à un endroit autre que celui prévu sur les dessins de tuyauterie
- enlèvement prématuré des supports d'expédition
- soufflets installés en force pour rattraper un déplacement des tuyaux trop important
- protection insuffisante contre les dommages mécaniques externes
- supports d'expédition laissés en place avant la mise en service de la tuyauterie

c. Ancrage, guidage et support inappropriés de la tuyauterie

d. Défaillance d'ancrage en service

e. Corrosion des soufflets

- matériau de soufflet mal choisi en fonction du caloporteur et/ou des conditions d'environnement. Par exemple, les chlorures émanant de l'isolant peuvent causer la corrosion des soufflets en acier inoxydable
- corrosion tensorielle (les soufflets fabriqués en un alliage à forte teneur en nickel peuvent se corroder en présence de certains éléments présents sous forme de traces tels que les chlorures)

f. Surpression de la tuyauterie

g. Vibrations du soufflet produites mécaniquement ou par la circulation du caloporteur en raison de la fatigue (parfois difficile à déceler)

h. Flèche excessive du soufflet (déplacements longitudinaux, latéraux ou angulaires supérieurs aux limites prescrites par le fabricant)

i. Érosion des soufflets

- érosion des soufflets sans chemisage dans une tuyauterie où le fluide est érosif et/ou circule à haute vitesse

j. L'accumulation de particules provenant de l'isolant ou d'autres sources peut obstruer les creux du soufflet et nuire à son mouvement.

3.3 Données de conception

a. Ancrages de tuyauterie

Les ancrages de tuyauterie subdivisent le tronçon de tuyauterie en sections plus petites et dont les déplacements peuvent être limités. Les déplacements de chaque section sont absorbés par le joint de dilatation qui se trouve entre deux ancrages et ne doivent pas dépasser l'ampleur maximale prescrite pour le soufflet.

Les principaux appareils raccordés à la tuyauterie, tels que les pompes, les compresseurs, les échangeurs de chaleur, etc., ne doivent pas servir d'ancrages. Les ancrages de tuyauterie, leurs fixations et les structures auxquelles ils sont fixées doivent être calculés pour résister aux forces qui leur seront appliquées. Dans le calcul des composants, il faut considérer que les forces appliquées sont bien supérieures à celles prévues afin d'éviter toute défaillance. La différence de prix entre un ancrage bien conçu et un ancrage mal conçu est insignifiante, mais la défaillance d'un ancrage peut causer des dommages importants à l'installation.

Pour s'assurer que les joints de dilatation fonctionnent en position linéaire, des ancrages doivent être prévus aux coudes et aux autres changements de direction de la tuyauterie. Ils sont aussi utilisés en extrémité d'un tronçon rectiligne terminé par un bouchon ou un robinet. Le calcul des forces appliquées à ces ancrages doit inclure la poussée de la pression interne dans le réseau.

Des ancrages intermédiaires sont utilisés n'importe où avec un tronçon de tuyau droit supporté par un ancrage à chaque extrémité. Ils sont utilisés pour diviser le tronçon en sections dont les déplacements peuvent être limités. La force agissant sur un ancrage intermédiaire exclut toujours la poussée due à la pression interne dans le tuyau puisque ces forces s'annulent.

Les règles générales relatives à l'utilisation des ancrages sont les suivantes:

1. Placer un ancrage à chaque coude et à chaque changement de direction, sauf aux endroits où des accessoires équilibrés, articulés ou conçus pour bouger librement sont équipés de dispositifs pouvant absorber la poussée causée par la pression interne.

2. Ne pas installer plus d'un joint de dilatation entre deux ancrages. Lorsque plusieurs joints sont nécessaires sur un tronçon de tuyau droit, utiliser des ancrages intermédiaires pour subdiviser le tronçon en sections dont les déplacements peuvent être limités.

b. Guides pour tuyaux

Le bon alignement des tuyayx raccordés est vital au fonctionnement des joints de dilatation. Un bon support est nécessaire pour résister aux charges permanentes et surcharges imposées à la tuyauterie. Des supports doivent être prévus aux joints de dilatation pour assurer leur bon fonctionnement.

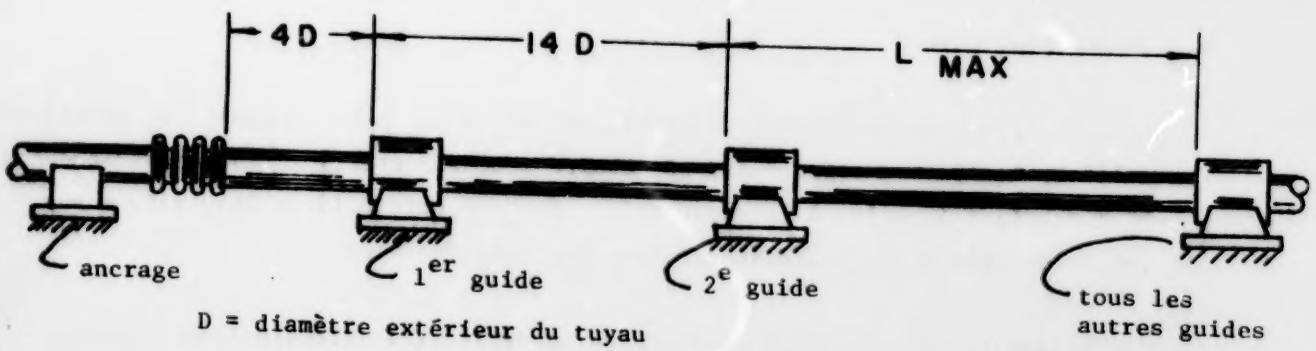
Les guides plans permettent au tuyau de se déplacer longitudinalement pour compenser son changement de longeur et ils dirigent l'allongement thermique uniformément dans le joint de dilatation.

Les guides d'alignement de tuyau et les guides plans devraient permettre un jeu suffisant entre les pièces fixes et mobiles du guide d'alignement afin d'éviter une friction excessive. Ces guides ne doivent pas être installés selon les normes et pratiques d'installation des étriers à tuyaux.

Une bride boulonnée, un étrier ou un support à galet unique ne supportant que le poids de la tuyauterie ne peut remplacer un guide d'alignement ou un guide plan approprié. Les matériaux utilisés dans la fabrication des guides doivent fournir résistance et rigidité dans les conditions de service théorique et être suffisamment résistants à la corrosion et à l'usure.

Aux endroits où il ne se produit que des déplacements longitudinaux, il faut éviter d'installer un guide d'alignement simple car ce dernier pourrait agir comme point d'appui imposant des déplacements latéraux ou angulaires au joint de dilatation.

Dans le cas des canalisations de niveau où il ne se produit que des déplacements longitudinaux, telles que les canalisations principales non fixées d'une batterie de capteurs, le joint de dilatation doit être placé à une distance d'au plus quatre fois le diamètre du tuyau depuis l'extrémité du soufflet. On réalise ainsi un guidage efficace du déplacement et un bon support pour chaque extrémité du joint de dilatation. La distance entre le premier et le second guide doit être d'au plus quatorze fois le diamètre du tuyau (voir la figure 5).



D = diamètre extérieur du tuyau

L_{max} = distance maximale recommandée par le fabricant entre le second guide et les suivants

Figure 5: Guides d'alignement de tuyaux

Lorsque des soufflets sont utilisés dans une batterie de capteurs, il faut installer des ancrages et guides. Des guides doivent être installés sur les canalisations principales d'alimentation et de retour près du joint de dilatation (voir figure 6).

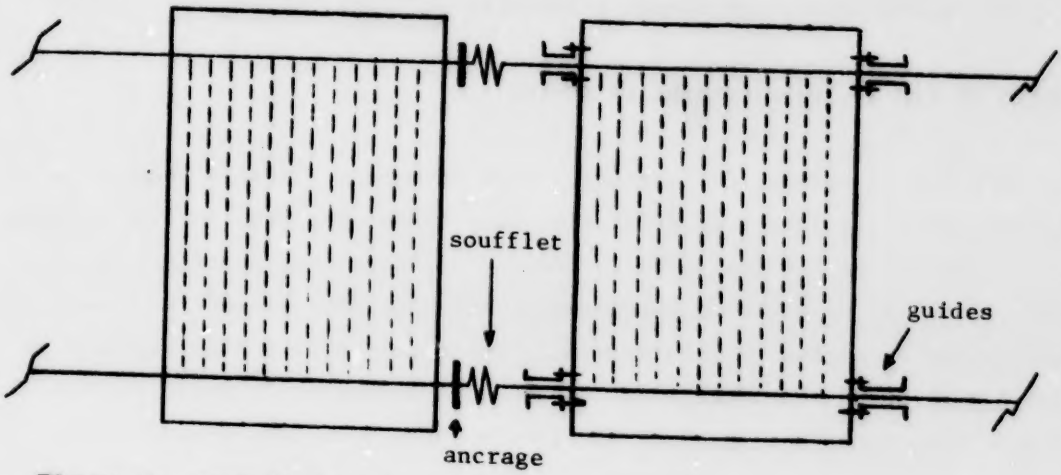


Figure 6: Installation de soufflets dans une batterie de capteurs

c. Installation

S'assurer que le joint de dilatation est de la bonne longueur. Suivre les instructions du fabricant pour ce qui est du degré de détente ou de compression à donner au soufflet afin qu'il soit installé à la longueur appropriée en fonction de la température ambiante.

Puisque les joints de dilatation sont expédiés à leur longueur maximale admissible, une certaine précompression du joint est nécessaire lorsque la température lors de l'installation est considérablement supérieure à la température minimale à laquelle le tuyau sera soumis.

Ne jamais étirer un joint de dilatation pour compenser une erreur d'ajustement des tuyaux. Si les cales doivent être enlevées, elles doivent l'être selon les recommandations du fabricant avant que le joint de dilatation soit mis en service. Il faut prendre soin de s'assurer que la longueur d'installation prévue est maintenue tant que les ancrages ne sont pas tous en place. Enlever toute matière étrangère des plis du soufflet.

Ne pas soumettre le joint de dilatation à une pression ou à un jeu axial supérieurs aux valeurs indiquées sur sa plaque signalétique. Ces essais excessifs peuvent gravement endommager le joint.

4. ÉTUDE DE CAS I - PISCICULTURE DE GUNTON

L'installation solaire de la pisciculture de Gunton illustre comment la mauvaise installation des joints de dilatation peut causer des problèmes de surcompression. Les capteurs ont été installés au début de l'hiver, les soufflets auraient donc dû être installés en position suffisamment détendue pour permettre un allongement d'au plus 15 mm du tuyau. Malheureusement, cette possibilité d'allongement du tuyau n'a pas été prise en considération. Par chance, seulement le quart des capteurs avaient été soudés, sinon les dommages auraient pu être bien plus graves.

Un stagnation complète du circuit s'est produite au cours du printemps suivant l'installation. Avec des températures de plaque de l'ordre de 175°C, les tubes de cuivre des capteurs étaient presque à leur longueur maximale. La plupart des soufflets étaient rendus soit à leur limite de décompression soit surcomprimés de quelques millimètres.

Dans cette installation, un joint de dilatation avait été prévu tous les quatre capteurs. La canalisation principale des capteurs a été coupée à sa longueur exacte en usine à une température ambiante de 21°C. Les températures maximale et minimale des tubes ont été évaluées à 204°C et -40°C respectivement. Le coefficient de dilatation thermique du cuivre est de 16.2×10^{-6} mm.°C^{-1}. La longueur de tube de quatre capteurs est de 3 708 mm. Le déplacement total (dilatation et contraction) dans le soufflet est donc le suivant:

Contraction du soufflet 21°C à 204°C	11 mm
Dilatation du soufflet 21°C à -40°C	4 mm
	15 mm

Étant donné que les capteurs ont été installés en hiver, le tuyau de cuivre était à son plus court et les soufflets auraient dû être posés sans compression, en position détendue. Ainsi, le déplacement total du soufflet aurait pu être rattrapé tant par la compression à mesure que la température des capteurs augmentait. (Inversement, si le soufflet avait été posé en position non comprimée par temps chaud, il aurait été surtendu de 2.3 mm lorsque la température des capteurs aurait atteint -40°C).

Étant donné que la plupart des capteurs n'avaient pas encore été soudés, il a été plus facile de remédier à cette situation et de nouveaux soufflets plus gros ont été installés.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1 Méthodes d'installation et précautions

1. Par temps froid, les soufflets doivent être posés en position légèrement détendue. Si les capteurs sont installés par temps très froid, il faut consulter le concepteur pour savoir à quelle longueur installer le soufflet. **Toujours suivre les recommandations du fabricant.**

2. Si les soufflets sont installés par temps chaud, au moins 80% de la surface des capteurs doit être recouverte d'un matériau opaque. Des feuilles de plastique noir fixées provisoirement à la surface à l'aide de ruban adhésif conviennent.

3. Les soufflets doivent être de dimensions appropriées pour pouvoir absorber sans risque la dilatation et la contraction maximales du tuyau. Les dimensions de la tuyauterie installée doivent être conformes aux dimensions indiquées sur les dessins de conception.

4. La canalisation principale doit être centrée dans le boîtier avant que les soufflets soient installés.

5. Des ancrages de tuyau doivent être installés aux coudes et aux changements de direction.

6. Il ne faut pas utiliser des supports de tuyau au lieu de guides.

6. RÉFÉRENCES

1. Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association, Inc., 5th Edition, 1980.

2. High Corr Expansion Joints, Engineering Guide n° 700, UOP Ltd., 1974.